新興光源 發光二極體 在農業上之應用

◎農試所農工系　姚銘輝、梁連勝

發光二極體（light emitting diode；LED）是一種半導體，目前在許多產品上應用甚廣。從日常家電用品上的顯示器到精密電子設備的零件皆有。以下簡單介紹發光二極體構造、發光原理以及在農業上的應用。

發光二極體為一種半導體，這種材料係利用金屬材料的特性研發加工後的產品。在化學週期表中Ⅳ族是最穩定的一族，包括碳(C)、矽(Si)、鍺(Ge)及砷(Sn)等，由於原子外側的電子數呈８的倍數，以穩定方式結合成晶體。此種晶體以電子學觀點是不良導體，電子無法通過此種晶體表面，因此是一種良好電阻材料。而週期表中第Ⅲ族和第Ⅴ族是較第Ⅳ少或多一個電子的金屬材料，如果Ⅳ材料中加入微量的第Ⅲ或第Ⅴ族金屬即成半導體。在第Ⅳ族元素中，碳在理論上可作為半導體材料來源，但其價格過於昂貴（碳的結晶即為鑽石），所以，一般商品化的產品大多以矽為材料。當矽中混合極少量其他族的元素，例如在１億個矽原子中加入１個磷原子，磷是Ⅴ族之元素，也就是外層有多一個電子的元素，多出來的電子在結晶內可以使電流流動。由於加入矽晶體的磷原子數量可加以控制，因此在半導體上的自由電子數可以估算，晶體的特性也由高電阻轉變為低電阻。而磷此種使晶體中具有多餘之自由移動電子稱為供體(donor)，利用供體所提供電子而使電流流動之半導體稱為ｎ型半導體。相對於ｎ型之多一個電子特性，另一種為摻雜外層比矽少１個電子之Ⅲ族元素，則會產生電力不足的現象。該電子不足之處可以視為具有空洞，稱為電洞(hold)。而由電洞使電流流動之半導體稱為ｐ型半導體。

當ｎ型和ｐ型晶體結合後，通電使ｎ型多餘的電子流動至ｐ型的電洞，由於電位的差異使ｎ型電子落入ｐ型電洞內，在落下過程中即有能量的釋放(圖一)。釋放方式是以光的方式進行，而產生不同波長的光線。釋放能量和光之關係為：

$$E\lambda = h\frac{C}{\lambda}$$

其中Eλ：釋放之能量

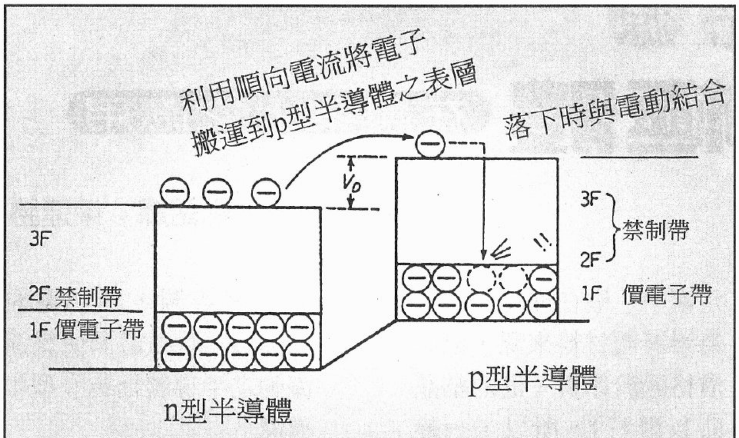
c：光速度（3×10^{8}m）

h：蒲朗克（Planck）常數(6.63×10^{-34} J sec^{-1})

λ：波長(nm)

可將上式簡化為

$$E\lambda = \frac{1240}{\lambda}$$



圖一、發光二極體之發光原理

其中Eλ單位為電子伏特
λ波長單位為微米（nm）
但是並非所有能量皆以光方式釋放，有部份會轉為熱，因此，將注入之電子數目（電流）和放出的光當作發光效率

$$Z_{EL} = \frac{Po}{IF \times E\lambda}$$

其中 Z_{EL}：發光效率（%）

Po ：光輸出（W）

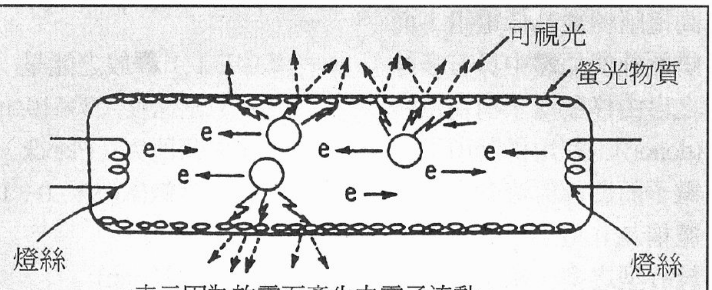
IF ：電流（A）

Eλ ：能量間隙 (energy gap)

而發光二極體即是利用上述方式產生光線，早期發光效率很低，藉由消除雜質及精進的融合技術，目前其效率已大幅改善，同時可產生不同波長（即顏色）的光源，包含紅光、綠光、黃光、橙光及藍光皆有製品。由於透過材料的組成控制，可有效及精確的產生所需波長的光，所以在光質控制較以往精確。

目前我國農業生產已朝精緻化及效率化經營模式在轉型，並利用各種設施以改善栽培環境。常見者如利用溫室生產高附加價值之農產品，或利用組織培養技術生產種苗或藥材，不論在室內或室外常需補充人工光源以供植物進行光合作用。一般最常用補充人工光源為日光燈。日光燈的原理如圖二，將燈絲加熱，使管內之水銀蒸氣產生放電。水銀蒸氣利用此種放電來產生紫外線。在燈管內塗有螢光塗料，當紫外線接觸到該螢光塗料時，就發出該螢光物質所特有之可視光線。經由混合使用之螢光物質可以形成接近太陽光之光線。圖三為日光燈、白熱電燈泡、太陽光及植物生長燈管所發出之光譜情形。

發光二極體具有波長

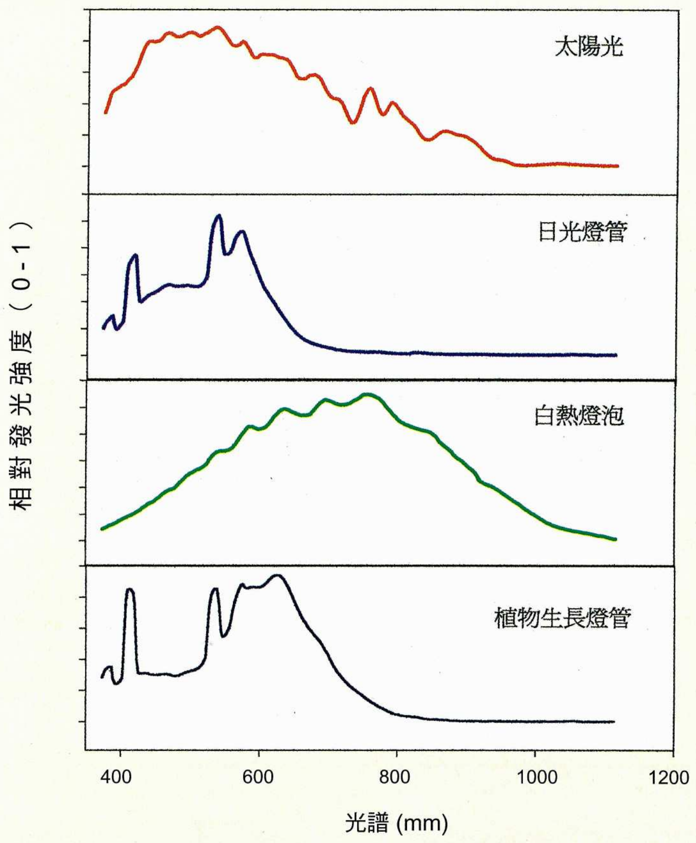


e→表示因為放電而產生之電子流動。
表示管內之水銀蒸氣。
電子碰到　蒸氣時利用其能量來產生紫外線。
當該紫外線接觸到螢光物質時就產生可視光。

圖二、日光燈之發光原理

固定之特性，可提供植物生長所需特殊波長光質之光源。當然，若以溫室或是組織培養室的規模，單以發光二極體為唯一光源是不切實際的，在日光燈或植物生長燈管提供基本亮度，再由發光二極體提供植物葉綠素A行光反應之藍光波段（430 nm）及紅光波段（630 nm）之補充光源，可使植物光利用效率（光質部份）更形提高，有助於作物生產。

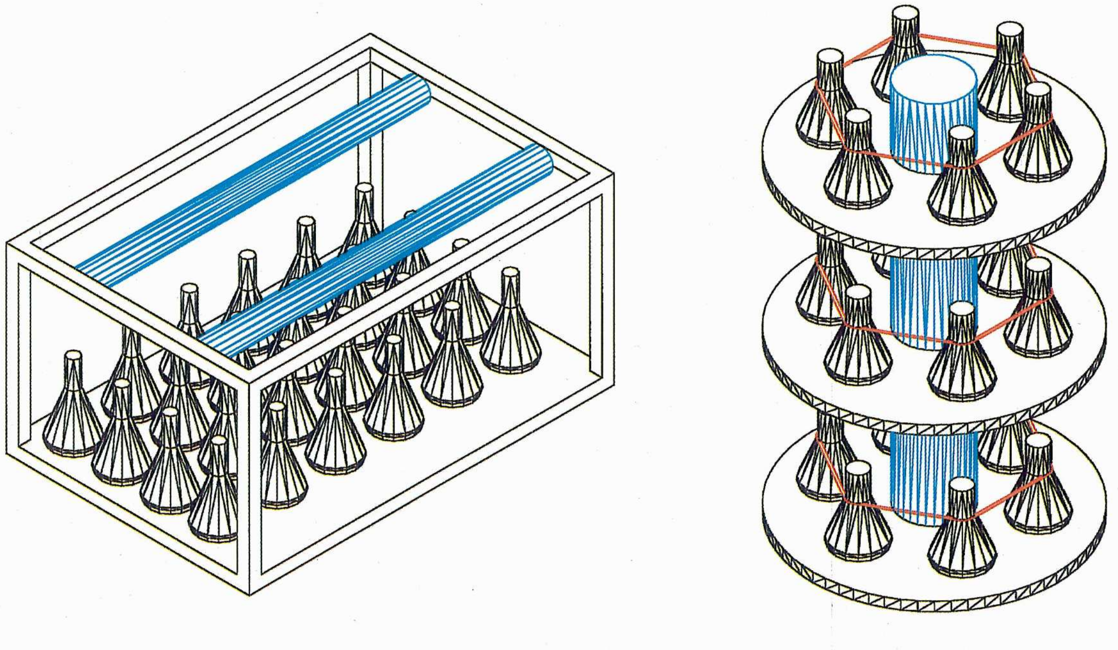
發光二極體另一特色為光源可彎曲。一般日光燈或植物生長燈管為固定型式，在空間利用上有其缺陷。以放置組織瓶苗為例，圖4左側為現行放置架，燈管和瓶苗需距離一定高度，以方便取放內側瓶苗，但依據Lambert-Beer 定則，光源強度和距離是呈對數關係(光強依距離以10的倍數遞減)，因此光實際到達瓶苗的強度僅及光源強度的小部份，大部份以散射方式消失，造成光源的浪費。因此光源越接近瓶苗對光的利用越有效率。圖五為發光二極體的構造，其直徑由2.5~10 mm，在引出線可



圖三、不同光源之光源分佈情形

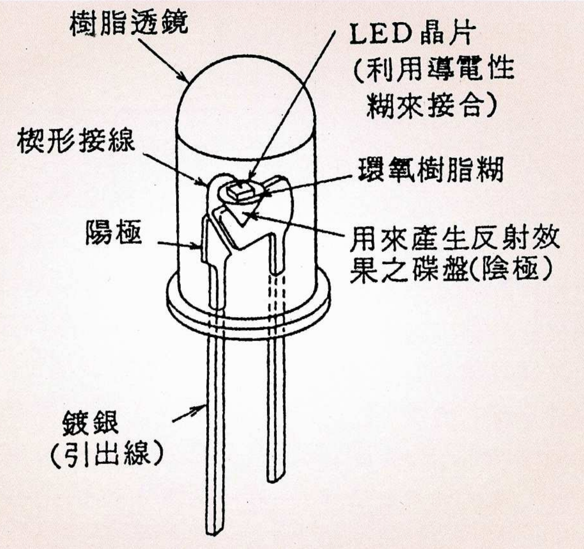
接在電線上，形成帶狀的光源，因此整個瓶苗可用圓形立體化的設計（圖四右側），類似新書陳列轉盤，沿中心軸轉動，可放置日光燈或植物燈管提供基本光源，發光二極體(圖中紅線部份)則圍繞於瓶苗，提供最接近的光源，而圓形結構可節省空間，在組織培養苗生產工廠化的觀點下，此種設計是值得嘗試的。

結論：發光二極體設計之初，主要是利用於家用電器品顯示器，廣告看板或裝飾用。但由於其具有固定波長及操作方便等特點，已逐漸利用於植物生產研究上。1987年開始有學者利用發光二極體固定波長特性，應用在植物向



圖四、左側為現行組織瓶苗架，右側為立體圓形組織瓶苗架；藍線表示日光燈源，紅線表示發光二極體光源。

地性，型態改變及病害發生上的研究。日本千葉大學古在（Kozai）教授研究室將其應用在組織瓶苗的生產研究上。預計未來在光研究上將有極大應用價值。當然，目前發光二極體亮度和價格仍未達實用化階段，不過，由於極具市場潛力，各方面研究正急速的展開，發光二極體勢必成為提供植物生長的新興光源。



圖五、發光二極體光源之構造